

## Особенности измерения магнитных свойств быстрозакалённых магнитомягких сплавов в виде лент

**Шелестова Анжелика Александровна**

*Степанова Елена Александровна, Феценко Анастасия Александровна*

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина*

*Степанова Елена Александровна*

*[shelestova2001@mail.ru](mailto:shelestova2001@mail.ru)*

Магнитомягкие сплавы – это ферромагнитные сплавы, характеризующиеся узкой петлёй гистерезиса и малой коэрцитивной силой. Аморфные материалы были открыты более сорока лет назад, но исследования их структурных, магнитных и кинетических свойств не ослабевают и по настоящее время. Особый интерес представляют быстрозакалённые магнитомягкие сплавы, что объясняется возможностью широкого использования аморфных материалов в современной микроэлектронике при относительно низкой цене их изготовления. Эти материалы применяются в тех случаях, когда требуется наибольшая концентрация магнитного потока при минимальных размерах технических устройств [1].

В соответствии с ГОСТами на методики измерения магнитных свойств магнитомягких сплавов исследуемые образцы должны иметь замкнутую форму: в виде торов, листов или полос для аппарата Эпштейна [2, 3, 4]. Такие методики реализованы в автоматизированных магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМ-005-100 для измерения квазистатических и динамических магнитных свойств, соответственно. Однако, для научных исследований, особенно магнитных свойств лент быстрозакалённых магнитомягких сплавов, иногда нет возможности использовать аппарат Эпштейна или изготавливать образцы в виде торов вследствие малого количества полученного материала. Поэтому в данной работе была поставлена задача установить возможность проведения измерений на магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМ-005-100 образцов быстрозакалённых магнитомягких сплавов в форме лент размерами 120x10x0,025 мм при помощи пермеаметров.

В данной работе был использован быстрозакалённый магнитомягкий сплав 71КНСР ( $\text{Co}_{72}\text{Ni}_{12,2}\text{Fe}_{5,7}\text{Si}_{6,5}\text{B}_{3,6}$ ) производства Ашинского металлургического завода. Индукция насыщения для данного сплава составляет 0,58 Тл, коэрцитивная сила – 0,8 А/м, температура Кюри – 225 °С, плотность – 7,7 г/см<sup>3</sup>, удельное сопротивление 1,35·10<sup>-6</sup> Ом·м. Этот сплав предназначается для работы на высоких (до 200 кГц) частотах, в высокочастотных силовых трансформаторах, магнитных ключах, магнитных экранах, магнитных головках, магнетометрах.

Пермеаметры удобны тем, что допускают быструю смену образца и минимизируют затраты времени на проведение измерений. Образец вкладывается в пермеаметр и замыкается ярмом-рамой, поэтому образуется замкнутая магнитная цепь. Основными частями пермеаметра являются само ярмо, намагничивающая и измерительная катушки. В эксперименте пермеаметры подсоединялись к установкам ММКС-100-05 и УКМП-0,05-100.

ММКС-100-05 была использована для измерений квазистатических петель гистерезиса, основных кривых намагничивания и зависимостей остаточной индукции от максимальной индукции частных петель гистерезиса. Относительная погрешность измерения магнитного потока на диапазоне 10 мкВб составляет не более ±1,0 %. Для работы на установке был проведён расчёт параметров исследуемых образцов: площади поперечного сечения, длины и массы ленты. Ранее [5] для используемых пермеаметров была установлена длина, на которой замыкался магнитный поток. Эту длину можно принять в качестве средней линии тора: таким образом мы заменяем наш образец виртуальным тором. На рис. 1 и 2 показаны результаты измерений исследуемых образцов в форме лент.

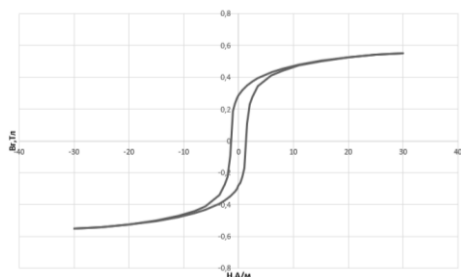


рис.1 Квазистатическая петля гистерезиса ленты исследуемого сплава при значении магнитного поля 30 А/м

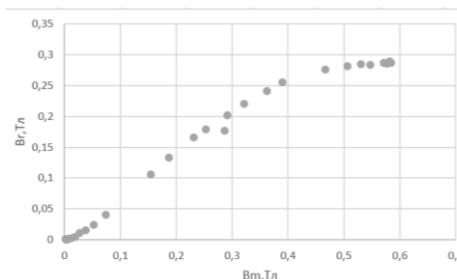


рис.2 График зависимости остаточной индукции от индукции насыщения

УКМП-0,05-100 используется для проведения измерений динамических магнитных характеристик магнитопроводов. Установка обеспечивает определение динамических магнитных характеристик в рабочих

диапазонах частот сигнала намагничивания 0,05...100 кГц. Относительная погрешность измерения напряжения на измерительной обмотке при напряжении от 1 В до 50 В составляет не более  $\pm 3\%$ . Для пермеаметра, используемого для работы на УКМП-0,05-100, также была установлена длина замыкания магнитной линии. И аналогично случаю с ММКС была проведена виртуальная замена ленты тором. Результаты измерения удельных магнитных потерь в зависимости от индукции и частоты приведены на рис.3.

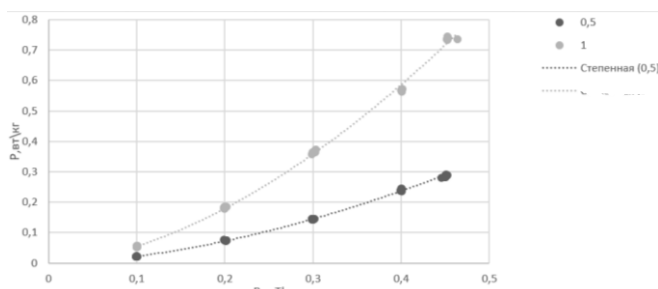


рис. 3 Зависимость удельных магнитных потерь от индукции насыщения для частот  $f$  500 и 1000 Гц.

В результате работы показано, что измерения магнитных свойств быстрозакаленных магнитомягких сплавов в форме лент на автоматизированных магнитоизмерительных установках ММКС-100-05 и УКМП-0,05-100 с использованием пермеаметров возможны.

Список публикаций:

- [1] Мишин Д.Д. *Магнитные материалы*. Издательство: Высшая школа. 1981 год.
- [2] Катаев В. А. *Методы измерений электрических и магнитных свойств функциональных материалов: учебное пособие* В. А. Катаев. — Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2010.
- [3] ГОСТ 12119.4-98 В39 Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения удельных магнитных потерь и действующего значения напряженности магнитного поля. — М.: Изд-во «Стандартов». — 1998
- [4] ГОСТ 12119.5-98 В39 Сталь электротехническая. Методы определения магнитных и электрических свойств. Метод измерения амплитуд магнитной индукции и напряженности магнитного поля. — М.: Изд-во «Стандартов». — 1998
- [5] Игнатенкова Л.А. *Исследование метрологических характеристик однополосочного пермеаметра: дипл. работа / УрГУ.* — Екатеринбург, 1993. — 27 с.